

UNIVERSIDADE DE LISBOA  
FACULDADE DE CIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOGRÁFICA, GEOFÍSICA E ENERGIA



**Ciências  
ULisboa**

## **Desagregação do Consumo Energético e Simulação Térmica Detalhada de um Grande Edifício de Serviços**

**Mestrado em Engenharia da Energia e Ambiente**

David Jorge Gomes dos Santos

Dissertação orientada por:  
Prof.<sup>a</sup> Marta João Nunes Oliveira Panão

## Resumo

O trabalho desenvolvido teve como principais objetivos a aprendizagem da metodologia de simulação térmica detalhada e a desagregação de consumos de energia de um edifício de comércio e serviços. Os resultados foram obtidos através de medições da energia consumida nos quadros elétricos do edifício, utilizando analisadores de energia elétrica apropriados para a tarefa. A análise destes resultados permitiu a desagregação dos consumos do edifício nas suas diversas parcelas e estabelecer algumas medidas de poupança com base apenas na substituição da iluminação.

As medidas de melhoria do desempenho energético propostas para o edifício resultaram numa poupança de cerca de 60% do consumo de energia elétrica alocado à iluminação. A redução do consumo energético estimado resultou numa classificação do indicador de eficiência energética de B, tendo estado originalmente em C.

**Palavras-Chave:** Eficiência, Energia, Desagregação, Simulação.

## Abstract

The work had as main objectives learning of thermal simulation methodology and detailed the breakdown of energy consumption of a building of trade and services. The results were obtained through measurements of the energy consumed in building electrical switchboards, using electric power analyzers suitable for the task. The analysis of these results allowed the breakdown of consumption of the building in its various plots and establish some savings measures based only on replacement of lighting.

The improvement measures proposed for the building energy performance resulted in a savings of about 60% of the electricity consumption allocated to enlightenment. The estimated energy consumption reduction resulted in a classification of the energy efficiency indicator of B, having been originally in C.

**Keywords:** Efficiency, Energy, Disintegration, Simulation.

## Índice

Resumo.....	ii
Abstract .....	ii
Índice de Figuras .....	iv
Índice de Tabelas.....	iv
Agradecimentos.....	v
Simbologia e Notações.....	vi
1. Introdução .....	1
1.1. Motivação e enquadramento do tema.....	1
1.1.1. Enquadramento legal.....	1
1.2. Organização do trabalho.....	2
1.3. Objetivo do trabalho.....	3
2. Fundamentos Teóricos .....	4
2.1. Transmissão de Calor .....	4
2.2. Simulação de edifícios e cálculo de cargas térmicas.....	5
3. Caso de estudo: Jonobras .....	8
3.1. Metodologia de simulação térmica detalhada do edifício .....	8
3.2. Caracterização do edifício .....	9
3.2.1. Localização e dados climáticos .....	12
3.2.2. Envolvente Térmica .....	13
3.2.2. Sistemas Técnicos .....	18
3.2.3. Sistemas de transporte e distribuição de energia elétrica .....	22
4. Modelação do Edifício .....	23
4.1. Monitorização – Cenário Atual.....	23
4.2. Validação do Modelo .....	26
5. Desagregação do Consumo Energético.....	27
6. Determinação da Classe Energética .....	29
7. Medidas de Melhoria.....	31
7.1. Iluminação.....	31
8. Conclusões e Desenvolvimentos Futuros.....	33
Referências Bibliográficas .....	34
Anexos.....	35
Anexo A – Perfis de utilização.....	35
Anexo B – Iluminação.....	37

## Índice de Figuras

Figura 2.1 - Menu HAP.....	6
Figura 3.1 - Fachada do Edifício.....	9
Figura 3.2 - Planta do edifício Jonobras.....	11
Figura 3.3 - Vista aérea .....	12
Figura 3.4 - Composição da parede exterior .....	13
Figura 3.5 – Composição da cobertura exterior .....	14
Figura 3.6 - Composição parede circulação comum .....	14
Figura 3.7 - Composição da parede espaço complementar .....	15
Figura 3.8 - Composição da cobertura interior.....	15
Figura 3.9 - Composição do pavimento .....	15
Figura 3.10 - Pormenor Climatização .....	20
Figura 3.11 - Pormenor Climatização .....	20
Figura 3.12 - Diagrama de Quadros .....	22
Figura 4.1 - Esquema de montagem do analisador de energia .....	25
Figura 4.2 - Diagrama de carga.....	25
Figura 5.1 - Diagrama de carga do dia médio .....	27
Figura 5.2 - Iluminação exterior.....	28
Figura 5.3 - Desagregação do consumo energético.....	28

## Índice de Tabelas

Tabela 3.1 - Dados climáticos locais [7].....	12
Tabela 3.2 - Características de ventilação.....	19
Tabela 3.3 – Características dos Sistemas de Iluminação .....	20
Tabela 3.4 - Características dos Equipamentos existentes .....	21
Tabela 4.1 - Consumos elétricos totais por mês.....	23
Tabela 4.2 – Resultados da simulação térmica desagregados por utilização .....	26
Tabela 6.1 - Indicadores de eficiência energética previsto e de referência.....	29
Tabela 7.1 - Proposta de substituição da rede de iluminação.....	31
Tabela 7.2 - Redução do consumo elétrico de iluminação obtido.....	31

## **Agradecimentos**

A realização deste trabalho só se tornou possível com a colaboração e apoio de várias pessoas, tornando-o numa experiência enriquecedora. Deste modo quero expressar os meus sinceros agradecimentos a todos os que, de alguma forma, empenharam esforços na sua execução.

À minha orientadora, Professora Marta Panão, pelo apoio, conselho e orientação no desenvolvimento deste trabalho.

À empresa Genera, Lda, nomeadamente ao Engenheiro Eduardo Fontes, pela cedência de dados e informações, disponibilidade e apoio imprescindíveis à realização da presente dissertação.

Finalmente, de modo especial, quero agradecer à minha família por estar presente nos momentos de exaustão, angústia e ansiedade, acreditando sempre em mim.

Muito obrigado e dedico este projeto a todos.

## Simbologia e Notações

$U$	Coefficiente de transmissão térmica ( $\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ )
$R_{si}$	Resistência superficial interior ( $\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ )
$R_{se}$	Resistência superficial exterior ( $\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ )
$HAP$	Hourly Analysis Performance
$IEES_{pr}$	Representa os consumos de energia de climatização (aquecimento e arrefecimento ambiente) e iluminação do edifício real;
$IEES_{ref}$	Representa os consumos totais do edifício, caso este fosse dotado de soluções de referência
$IEES_{REN}$	Representa a energia produzida a partir de fontes de energia renovável
$R_{IEE}$	Rácio de classe energética

## **1. Introdução**

Neste capítulo inicial é enquadrado o tema do trabalho segundo os termos energéticos e segundo a legislação em vigor. Será também indicado o objetivo do trabalho, bem como o modo como este se encontra organizado.

### **1.1. Motivação e enquadramento do tema**

O desenvolvimento do paradigma "cidades do futuro/cidades inteligentes" tem, na sua dimensão energética, um fator crucial de sucesso [1].

É neste paradigma que se debruçam atualmente os engenheiros: cidades inteligentes segundo a ótica da energia, da segurança, da gestão de resíduos urbanos, da mobilidade... De facto, existem diferentes temas a serem debatidos e estudados atualmente cujo objetivo é tornar as cidades mais sustentáveis e melhorar a qualidade de vida do ser humano.

É neste sentido que tem surgido atualmente a reabilitação urbana e a construção de habitações mais eficientes, cujo objetivo final é o aumento do conforto térmico dos utilizadores e a redução dos consumos de energia elétrica associados ao aquecimento e arrefecimento do ambiente interior, tendo por consequência a redução de emissões de CO<sub>2</sub> emitidas.

É premente então consciencializar a população sobre a importância da eficiência energética no seu quotidiano, pois os benefícios não são apenas monetários (através da redução de consumos de energia) são também ambientais, pelo que a redução de energia consumida permite que seja necessário produzir mais, o que leva ao aumento do consumo de CO<sub>2</sub>. Assim é importante mostrar às pessoas as medidas simples e fáceis de adoptar que estão ao seu alcance, também de modo a que a população perceba a sua importância neste processo que é tornar o mundo mais sustentável energeticamente, um mundo mais "verde".

É nesta perspetiva que se desenvolve o presente trabalho, no qual são analisados dois processos, nomeadamente a simulação térmica e a desagregação do consumo. A finalidade dos mesmos é compreender o comportamento do edifício para que seja possível a adoção de medidas de otimização do desempenho energético que permitam a redução do consumo de energia e o aumento do conforto térmico dos utilizadores do edifício.

#### **1.1.1. Enquadramento legal**

Com o objetivo de atingir uma melhoria significativa do desempenho energético dos edifícios, o Decreto-lei n.º 118/2013 revogou os Decretos-lei 78,79 e 80 /2006, operacionalizando os desígnios da melhoria da eficiência no parque edificado nacional através do Regulamento do Desempenho

Energético de Edifícios de Comércio e Serviços (RECS) e do Regulamento do Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH).

Deste modo, de acordo com o artigo 22º, do Decreto-lei 118/2013, o REH estabelece os requisitos para os edifícios de habitação, novos ou sujeitos a intervenções, bem como os parâmetros e metodologias de caracterização do desempenho energético, em condições nominais, de todos os edifícios de habitação e dos seus sistemas técnicos. Estes surgem com o objetivo de promover a melhoria do respetivo comportamento térmico, a eficiência dos seus sistemas técnicos e a minimização do risco de ocorrência de condensações superficiais nos elementos da envolvente.

Neste sentido, de acordo com o artigo 32º do Decreto-lei 118/2013, o RECS estabelece as regras a observar no projeto, construção, alteração, operação e manutenção de edifícios de comércio e serviços e seus sistemas técnicos, bem como os requisitos para a caracterização do seu desempenho, de forma a promover a eficiência energética e a qualidade do ar interior.

## **1.2. Organização do trabalho**

No segundo capítulo é efetuado um estudo teórico da modelação de edifício com foco no funcionamento da simulação térmica de edifícios e no comportamento da envolvente térmica.

O caso de estudo é apresentado no capítulo três, onde é realizada a descrição e caracterização do edifício, quer do ponto de vista da envolvente térmica, quer do ponto de vista dos sistemas técnicos.

No capítulo quatro, apresentar-se-á o cenário atual do edifício, analisando-se a energia elétrica contabilizada pela entidade distribuidora e a energia elétrica medida durante a auditoria energética realizada. É também apresentada a validação do modelo de modelação do edifício, resultante da simulação térmica.

Por seguinte, no capítulo cinco será analisado o comportamento dos utilizadores do edifício através do diagrama de carga e será realizado, com base na auditoria energética e na simulação térmica, a desagregação do consumo energético, identificando os principais usos responsáveis pelo consumo de energia elétrica no edifício.

No capítulo seis, será aplicado na íntegra o Decreto-Lei 118/2013 para edifícios existentes, no qual será determinada a classe energética do edifício. Deste modo, pretende-se realizar a simulação térmica de acordo com os requisitos impostos pela legislação em vigor, determinando-se o indicador de eficiência energética previsto e o de referência.

No sétimo capítulo serão analisadas as melhores medidas de melhoria de desempenho energético do edifício, com o intuito de reduzir o consumo energético, realizando ainda uma análise económica às medidas propostas de forma a verificar a viabilidade das mesmas.

Finalmente, no oitavo capítulo, apresentam-se todas as conclusões associadas ao presente caso de estudo.

### **1.3. Objetivo do trabalho**

O principal objetivo da presente dissertação é a realização da simulação térmica detalhada do edifício de forma a compreender o comportamento térmico do edifício. Efetuada através da identificação dos seus perfis de utilização, quer de ocupantes, quer de sistemas técnicos e equipamentos e dos principais responsáveis pelo consumo de energia, permitindo assim a desagregação dos mesmos.

Neste trabalho pretende-se analisar a viabilidade de medidas melhoria de desempenho energético que permitam a redução da fatura energética e tornar o edifício mais sustentável energeticamente.

## 2. Fundamentos Teóricos

### 2.1. Transmissão de Calor

Conceptualmente, o conceito de termodinâmica, enquadrado no presente trabalho, permite compreender os fenómenos associados à transmissão de calor entre um sistema e a sua vizinhança, devido à diferença de temperaturas entre estes. Verifica-se então que, por vezes, esta transferência de energia térmica é a causa do desconforto sentido pelos indivíduos[2].

A transferência total de calor entre dois meios aquando de um gradiente de temperaturas pode ocorrer de várias formas:

i. **Condução:** É um processo de transferência de calor em que o calor é transferido devido à existência de um gradiente térmico num corpo sem que haja movimento macroscópico de moléculas. As moléculas na região da temperatura mais elevada têm maior energia interna e, através da agitação microscópica, transferem parte da sua energia para as moléculas adjacentes de menor temperatura[3].

ii. **Convecção:** É a transferência de calor entre o ar e as superfícies sólidas que constituem o espaço. O movimento do fluido é sempre causado por diferenças de pressão induzidas, externamente pelo vento ou, internamente, por um ventilador; nesse caso o efeito convectivo diz-se forçado. Em oposição, o efeito convectivo pode dever-se a diferenças de temperatura e à impulsão térmica, nesse caso diz-se natural[4].

iii. **Radiação:** Energia que é emitida pela matéria que devido a mudanças das configurações eletrónicas dos seus átomos ou moléculas é transportada por ondas eletromagnéticas (ou por fótons)[5].

Os ganhos internos (ocupação, iluminação, equipamentos) e os fatores relacionados com o clima (temperatura seca, humidade, radiação solar direta e difusa, orientação e velocidade do vento) são exemplos de agentes responsáveis pelas diversas possibilidades de permutas de calor supramencionadas. Todos estes mecanismos de transferência de energia necessitam de ser contabilizados[2].

No que respeita às reações da envolvente construtiva quando sujeita a diferentes estados energéticos, interiores e exteriores, surge o termo de inércia térmica. Esta consiste na capacidade de retenção de calor de um material, ou para o corrente caso pelo conjunto de materiais que formam as paredes exteriores, interiores e ainda os pavimentos/tetos. Esta inércia está intrinsecamente relacionada com a massa e a densidade dos materiais que definem esta estrutura, sendo que quanto maior o “peso” destes, maior a capacidade de funcionar como reservatório de calor, ou seja, maior a sua inércia[2].

## 2.2. Simulação de edifícios e cálculo de cargas térmicas

O *Hourly Analysis Program* (HAP) é uma ferramenta que permite a execução de um estudo detalhado de sistemas de climatização de edifícios e comparação do consumo de energia e dos custos das alternativas de projeto em funcionamento. O *software* é constituído por duas ferramentas:

A primeira - *HAP System Design Features* - estima cargas de aquecimento e arrefecimento visando dimensionar os componentes necessários ao sistema AVAC. Esta primeira ferramenta tem capacidade para:

- Calcular cargas projetadas de aquecimento e arrefecimento para espaços, zonas e serpentinas em sistemas AVAC;
- Determinar caudais de ar necessários para espaços, zonas e sistemas;
- Calcular consumos de serpentinas de aquecimento e arrefecimento;
- Calcular consumos de ventiladores de circulação de ar;
- Calcular consumos de chillers e caldeiras.

A segunda - *HAP Energy Analysis Features* - estima o consumo anual de energia e o custo dessa energia no mercado, simulando as unidades operacionais do edifício, 8760 horas do ano, quer para os componentes do sistema AVAC, quer para os restantes. Especificamente, a capacidade desta segunda ferramenta é a de:

- Simular hora-a-hora o consumo energético de todos os sistemas operacionais de aquecimento e ar-condicionado;
- Simular hora-a-hora todas as máquinas e equipamentos;
- Simular hora-a-hora todos os componentes que não pertencem aos sistemas AVAC inclusive luzes e utensílios;
- Usar resultados das simulações no cálculo total do custo e energia consumida;
- Gerar gráficos horários, diários, mensais ou anuais.[6]

O *software* HAP apresenta o menu ilustrado na Figura 2.1.

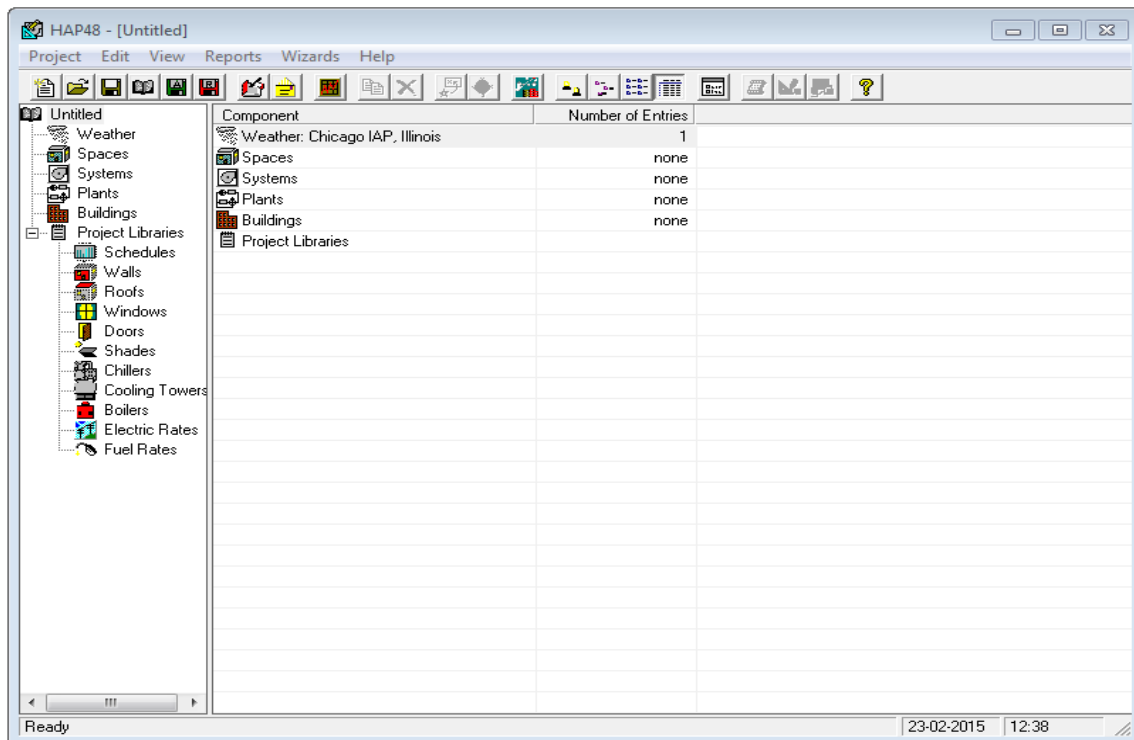


Figura 2.1 - Menu HAP

O *software* HAP é dividido em 6 separadores principais, nos quais serão introduzidos os dados referentes ao edifício em análise:

- Weather
- Spaces
- Systems
- Plants
- Buildings
- Project Libraries

No separador *Weather* é selecionado o País e região em estudo. Sendo também possível editar as temperaturas, de forma a adequar aos dados meteorológicos do local em análise.

No separador *Spaces* são introduzidas as diferentes zonas a analisar e é realizada a caracterização das mesmas. Sendo deste modo indicada a área da zona, o seu coeficiente de transmissão térmica, os requisitos de ventilação da zona, a constituição das paredes e vidros exteriores, paredes complementares, pavimentos e coberturas.

No separador *Systems* são introduzidos e caracterizados os sistemas de climatização do edifício. A caracterização consiste na introdução dos perfis diários e mensais de funcionamento, as zonas

climatizadas, as temperaturas e caudais de funcionamento e a caracterização das unidades interiores do sistema de climatização.

No separador *Plants* são introduzidos e caracterizados os equipamentos de climatização, assim como a configuração de funcionamento, mais especificamente, os horários de funcionamento, características de distribuição, nomeadamente temperaturas dos fluidos, caudal, eficiência da bomba de circulação do fluido e o tipo de fluido.

No separador *Buildings* é introduzido o edifício em análise no qual é indicado quais os sistemas que lhe estão associados, a fonte de energia associada, a energia elétrica e o gás natural, ou outro tipo de combustível fóssil.

No separador *Project Libraries* são introduzidas as características existentes no edifício. Ou seja, são definidas as soluções de paredes e coberturas, são identificados os perfis de funcionamento dos equipamentos, climatização, ventilação e iluminação e também o perfil de ocupação. São definidos também os tipos de vidros e sombras existentes, os chillers, caldeiras, torres de arrefecimento e por fim, identifica-se a fonte de energia utilizada, a energia elétrica e o gás natural, ou outro tipo de combustível fóssil.

### **3. Caso de estudo: Jonobras**

O estudo documentado na presente dissertação incidiu sobre um grande edifício de comércio e serviços, denominado "Jonobras" e consistiu essencialmente na realização de uma simulação térmica dinâmica tendo em conta os padrões de utilização reais do edifício, a definição da instalação de climatização e a caracterização das envolventes. A simulação possibilita a identificação dos contributos das cargas térmicas e do consumo elétrico do edifício. Através desta informação será possível a análise de implementação de medidas de otimização do desempenho energético do edifício e ainda determinar a poupança energética e monetária obtida.

#### **3.1. Metodologia de simulação térmica detalhada do edifício**

No presente caso de estudo para a realização da simulação térmica detalhada do edifício teve-se em conta os requisitos e metodologias definidas pela legislação em vigor. Desta forma, a metodologia utilizada para o cálculo do IEE apresenta-se descrita pelas seguintes etapas:

##### 1ª Etapa - Auditoria Energética

- Identificar e quantificar os fluxos de energia utilizados no edifício;
- Caracterizar os sistemas energéticos existentes para a conversão destas formas de energia em energia final, o seu estado de conservação, rendimentos de conversão e os respetivos planos de manutenção;
- Verificar se estão satisfeitas as condições de desempenho pretendidas (conforto térmico, renovação do ar, iluminação, águas quentes);
- Avaliar consumos energéticos específicos de cada utilização final e/ou de cada setor do edifício (iluminação, aquecimento, ventilação, ventilação, cozinha, ect.), com eventual o auxílio de simulação energética;
- Identificar medidas a implementar por forma a melhorar o desempenho energético das instalações;
- Calcular o indicador de eficiência energética do edifício e comparar com a referência.

##### 2ª Etapa - Calibração do modelo de simulação

- Obtenção, por meio de simulação dinâmica, do consumo de energia total (por forma de energia) e a desagregação desses consumos por utilização final. A diferença desses mesmos consumos não deve ter um desvio superior a 10% do faturado e do observado por auditoria energética referente à desagregação por utilização final. Para a calibração do modelo de simulação deve ser usado, de preferência, o ficheiro climático com dados referentes ao(s) ano(s) a que respeitam as faturas energéticas e auditoria energética.

Mais especificamente, nesta auditoria energética realizar-se-á uma visita técnica ao edifício onde será efetuado um levantamento do histórico dos consumos de energia, uma análise dos sistemas de preparação de águas quentes sanitárias (AQS), dos sistemas de climatização e dos principais equipamentos consumidores de energia. Será também efetuado um levantamento exaustivo da iluminação existente, um levantamento dimensional do edifício e das soluções construtivas usadas e uma recolha de informação sobre os horários de funcionamento e a taxa de ocupação. É ainda realizada uma medição em contínuo dos consumos elétricos do edifício durante o período mínimo de sete dias.

A auditoria também inclui o estudo das medidas de melhoria do desempenho energético que poderão beneficiar o utilizador, sendo devidamente justificadas através da análise relativa aos investimentos necessários, da variação implícita nos consumos energéticos e o tempo de retorno do investimento respetivo a cada medida de melhoria proposta.

### 3.2. Caracterização do edifício

O edifício Jonobras ilustrado na Figura 3.1 é um grande edifício de comércio e serviços composto por quatro pisos, sendo o piso -1 utilizado como armazém, o piso 0 é dividido em gabinetes e expositores de materiais de construção, o piso 1 encontrava-se desocupado e o piso 2 é constituído por escritórios.



Figura 3.1 - Fachada do Edifício

O edifício apresenta uma envolvente opaca e envidraçada que contacta com o exterior e com zonas não úteis<sup>a</sup>.

---

<sup>a</sup> Zonas não úteis - Zonas onde não existe consumo de energia elétrica associado ao contador do edifício (ex. zonas de circulação comum).

As fachadas exteriores estão orientadas a Norte, Sul, Este e Oeste, a laje de pavimento do Piso 0 está em contacto com o armazém (Piso -1); a laje de teto do piso 1 e piso 2 estão em contacto com zonas ocupadas do edifício e principalmente com o exterior.

A envolvente do edifício foi desenhada e foi classificada quanto ao seu comportamento térmico. Na Figura 3.2 são apresentadas as plantas dos diferentes pisos do edifício sendo classificado o seu desempenho térmico por intermédio de cores. As cores apresentadas na planta do edifício têm o seguinte significado:

- Verde – Indica que a envolvente está em contacto com uma área climatizada, não havendo perda de calor devido a ser considerado que as temperaturas interiores serão as mesmas para ambas as áreas, denominando-se a envolvente de adiabática;
- Castanho – Indica que está em contacto com um espaço tipo "B"<sup>b</sup> ou não útil, pelo que as trocas de calor, ocorrem entre dois espaços interiores, sendo apenas contabilizado a resistência de superfície interior (Rsi) no cálculo do coeficiente de transmissão térmica (U);
- Vermelho – Indica que está em contacto com exterior.

O edifício é composto por dois sistemas de climatização que suprimem as necessidades de aquecimento e arrefecimento nos Pisos 0 e 1. Os sistemas existentes são, em primeiro lugar, um sistema multi-split que climatiza a zona de escritórios do piso respetivo e, em segundo lugar, um sistema VRF que abrange a restante área do Piso 0 e a totalidade do Piso 1.

---

<sup>b</sup> Espaço complementar - Espaços não climatizados (ex. armazéns)

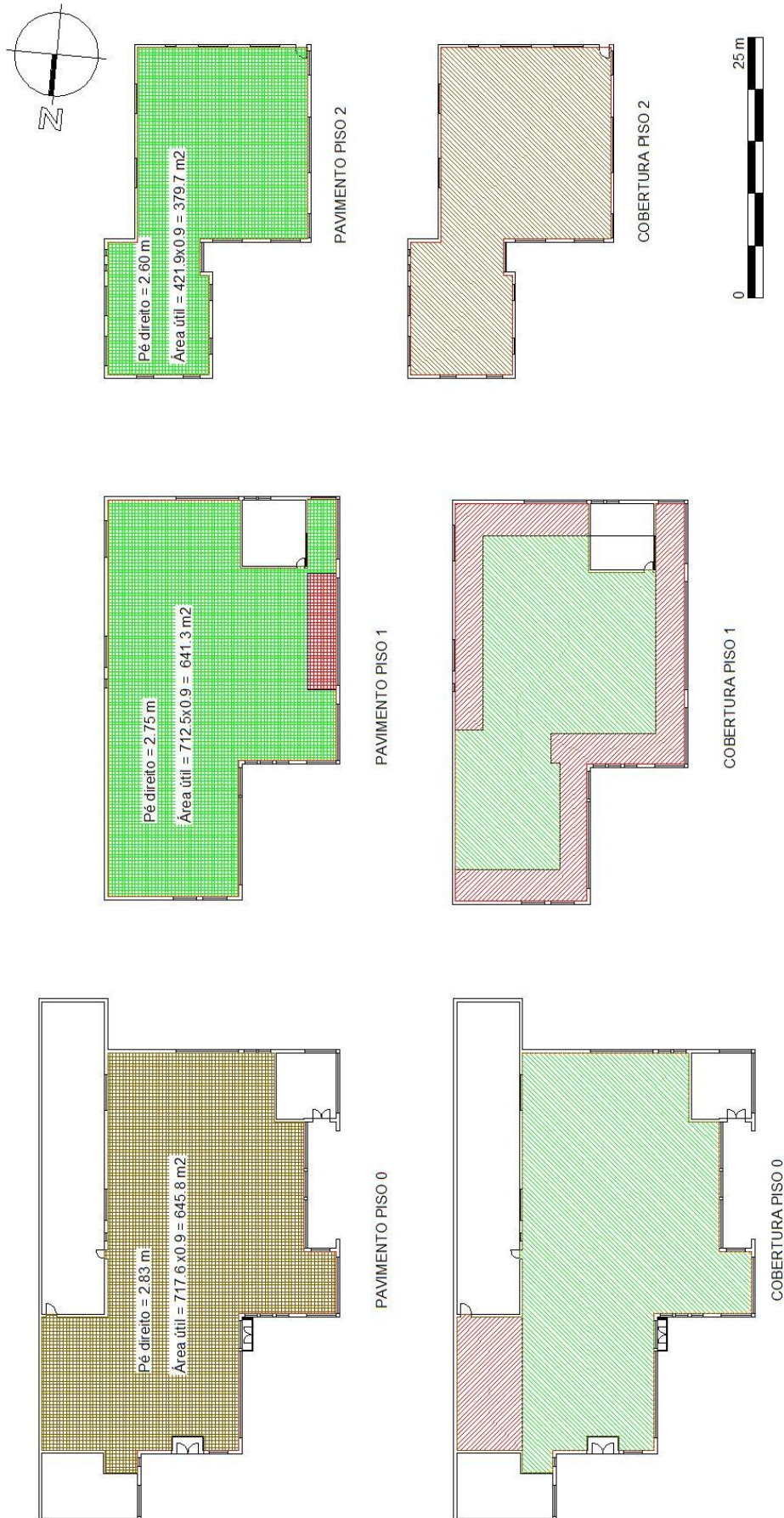


Figura 3.2 - Planta do edifício Jonobras

### 3.2.1. Localização e dados climáticos

O edifício situa-se no complexo identificado a traçado vermelho na Figura 3.3, localizado em Ribamar, freguesia de Santo Isidoro, concelho de Mafra, a uma altitude de 80 m (lat 39.00304, long -9.417735).



Figura 3.3 - Vista aérea

O edifício encontra-se na zona climática Grande Lisboa, sendo ainda classificada como zona climática de inverno II (Graus-dia menor ou igual a 1300) e zona climática de verão V2 (temperatura média exterior na estação de arrefecimento entre os 20°C e os 22 C), de acordo com o Despacho nº 15793- F/2013, classificação do NUTS III.

O local de implantação do edifício apresenta um clima temperado com verões quentes de acordo com a classificação de *Köppen – Geiger*. Deste modo, o clima é caracterizado por apresentar estações de verão e inverno bem definidas, sendo registados no local valores de humidade relativa média anual de 75 % e uma temperatura média anual de 16.25 °C, tal como apresentado na Tabela 3.1, na qual se encontra um sumário dos valores de humidade relativa, juntamente com mínimos e máximos da temperatura ambiente local.

Tabela 3.1 - Dados climáticos locais [7]

Meses	Humidade Relativa (%)	Temperatura Ambiente (°C)	
		Mínima	Máxima
<b>Janeiro</b>	80	8.3	14.1
<b>Fevereiro</b>	78	8.9	14.8

<b>Março</b>	77	9.7	16.2
<b>Abril</b>	74	11.0	18.0
<b>Mai</b>	74	12.1	21.9
<b>Junho</b>	74	14.2	24.8
<b>Julho</b>	71	15.7	27.3
<b>Agosto</b>	70	16.0	27.7
<b>Setembro</b>	73	15.3	27.0
<b>Outubro</b>	75	14.1	22.0
<b>Novembro</b>	78	10.8	17.1
<b>Dezembro</b>	79	8.6	14.6

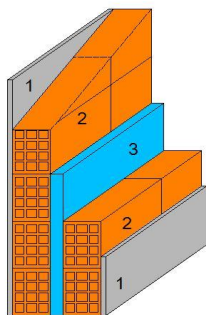
### 3.2.2. Envolvente Térmica

Na auditoria energética é analisada a envolvente térmica do edifício correspondendo à caracterização das envolventes exteriores e interiores, assim como dos vãos envidraçados interiores e exteriores. A análise da constituição dos diversos elementos permite aferir o desempenho energético dos mesmos.

#### 3.1.1.1. Envolvente Exterior

A envolvente exterior do edifício Jonobras é composta pelas paredes exteriores e pela cobertura exterior. Os respetivos elementos apresentam as seguintes características:

##### Parede Exterior



Paredes orientadas a Norte, Sul, Este e Oeste que separam a fração do exterior. Possuem uma espessura total de 0.39 m e são constituídas por [2] alvenaria de dupla de tijolo furado (0,15 m), revestidas com [1] reboco tradicional (0.02 m) em cada uma das faces e intercaladas por [3] uma camada de poliestireno expandido extrudido (XPS) (0.05 m) (ITE50 QI.1, I.2, I.3 e I.5 –  $U = 0.42 \text{ W/m}^2\cdot\text{°C}$ ). O Coeficiente de transmissão térmica foi majorado em 35% de forma a integrar as perdas por pontes térmicas planas.

Figura 3.4 - Composição da parede exterior

### **Cobertura exterior**

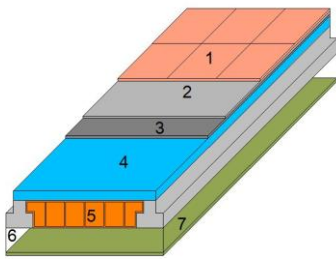


Figura 3.5 – Composição da cobertura exterior

Cobertura em contacto com o exterior com espessura de 0.41 m, com a seguinte composição: [7] placa de gesso cartonado (0.013 m), [6] caixa-de-ar (0.10 m), [5] laje aligeirada com blocos cerâmicos (0.23 m), [4] poliestireno expandido extrudado (0.04 m), [3] betonilha tradicional (0.01 m), [2] membrana impermeabilizante (0.01 m) e [1] mosaico cerâmico (0.01 m) (ITE50 QI.1, I.2, I.3, I.4 e I.7 –  $U = 0.57 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ ).

### **3.1.1.2. Envolvente Interior**

A envolvente interior do edifício Jonobras é composta pelas paredes interiores, que contactam com a circulação comum e espaço complementar, pela cobertura interior, que está em contacto com o desvão de cobertura, o pavimento que contacta com espaço complementar e ainda a porta interior que dá acesso ao espaço complementar. Os respetivos elementos apresentam as seguintes características:

#### **Parede Interior (circulação comum)**

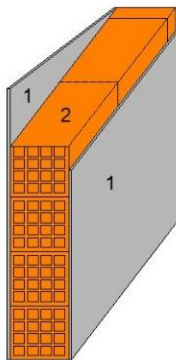


Figura 3.6 - Composição parede circulação comum

Parede interior que separa a fração de uma zona de circulação comum. Esta possui uma espessura total de 0.24 m e é constituída por [2] alvenaria simples de tijolo furado (0.22 m) e [1] acabamento em reboco tradicional (0.01 m) em ambas as faces. Não possui isolamento térmico. (ITE50 QI.2 e I.3 –  $U = 1.26 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ ). O coeficiente de transmissão térmica foi majorado em 35% de forma a integrar as perdas por pontes térmicas planas.

### **Parede Interior (espaço complementar)**

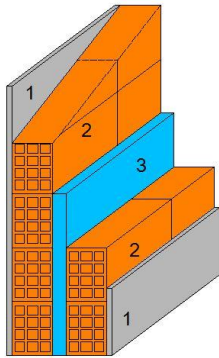


Figura 3.7 - Composição da parede espaço complementar

Parede interior que separa a fração de um espaço complementar. Esta possui uma espessura total de 0.39 m e é constituída por [2] alvenaria de dupla de tijolo furado (0,15 m), revestida com [1] reboco tradicional (0.02 m) em cada uma das faces e intercalada por [3] uma camada de poliestireno expandido extrudado (XPS) (0.05 m) (ITE50 QI.2 e I.3 –  $U = 0.40 \text{ W/m}^2\cdot\text{°C}$ ). O coeficiente de transmissão térmica foi majorado em 35% de forma a integrar as perdas por pontes térmicas planas.

### **Cobertura interior**

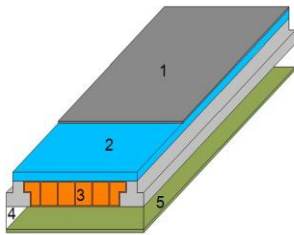


Figura 3.8 - Composição da cobertura interior

Cobertura em contacto com o interior com espessura de 0.363 m, com a seguinte composição: [5] placa de gesso cartonado (0.013 m), [4] caixa-de-ar (0.10 m), [3] laje aligeirada com blocos cerâmicos (0.23 m), [2] poliestireno expandido extrudado (0.04 m), [1] betonilha tradicional (0.01 m) (ITE50 QI.1, I.2, I.3, I.4 e I.7 –  $U = 0.56 \text{ W/m}^2\cdot\text{°C}$ ).

### **Pavimento**

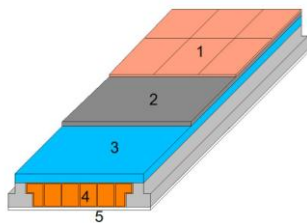


Figura 3.9 - Composição do pavimento

Pavimento em contacto com o interior com espessura de 0.21 m, com a seguinte composição: [1] mosaico cerâmico (0.015 m), [2] betonilha tradicional (0.02 m), [3] poliestireno expandido extrudado (0.04 m), [4] laje aligeirada com blocos cerâmicos (0.23 m) e [5] estuque tradicional (0.01 m) (ITE50 QI.2, I.3 e I.7 –  $U = 0.57 \text{ W/m}^2\cdot\text{°C}$ ).

### **Porta interior (espaço complementar)**

Porta que separa o edifício do espaço complementar. Possui uma espessura total de 0.035 m e é constituída por: painel de alumínio (0.01 m), caixa-de-ar (0.015) e novamente painel de alumínio (0.01 m) (ITE50 QI.2, I.3 e I.4 –  $U = 2.42 \text{ W/m}^2\cdot\text{°C}$ ).

### 3.1.1.3. Vãos envidraçados exteriores

OS vãos envidraçados exteriores do edifício Jonobras são caracterizados quanto ao seu tipo (vidro simples ou duplo), à sua funcionalidade, à sua orientação, ao seu sombreamento, à sua permeabilidade ao ar e ainda se possuem dispositivos de proteção solar interiores ou exteriores. Os respetivos elementos apresentam as seguintes características:

#### **Envidraçados (E1 N P0, E5 N P0, E7 W P0, E8 W P0, E14 N P1, E17 N P1, E18 W P1, E24 S P1 e E26 S P1)**

Vãos envidraçados exteriores orientados a Norte, Sul e Oeste, com vidro simples (10 mm), coloridos na massa, sem caixilharia nem sombreamento. Não dispõem de dispositivos de proteção solar (ITE 50 QI.2 e I.3 –  $U = 4.14 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ ).

#### **Envidraçados (E9 W P0 e E11 W P0)**

Vãos envidraçados exteriores orientados a Oeste, com vidro simples (10 mm), coloridos na massa, sem caixilharia e fortemente sombreados. Não dispõem de dispositivos de proteção solar (ITE 50 QI.2 e I.3 –  $U = 4.14 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ ).

#### **Envidraçados (E16 N P1, E22 E P1, E23 E P1 e E25 S P1)**

Vãos envidraçados exteriores orientados a Norte, Sul e Este, giratórios, com vidro duplo (4 a 8 mm + 16 mm lâmina ar + 5 mm), coloridos na massa, colocados em caixilharia de alumínio sem corte térmico, e sem sombreamento. Não dispõem de dispositivos de proteção solar (ITE 50 QIII.2 –  $U = 3.8 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ ).

#### **Envidraçado (E2 N P0)**

Vão envidraçado exterior orientado a Norte, giratório, com vidro duplo (4 a 8 mm + 16 mm lâmina ar + 5 mm), colorido na massa, colocado em caixilharia de alumínio sem corte térmico, com sombreamento normal. Não dispõe de dispositivos de proteção solar (ITE50QIII.2 –  $U = 3.8 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ ).

#### **Envidraçado (E6 W P0)**

Vão envidraçado exterior orientado a Norte, giratório, com vidro duplo (4 a 8 mm + 16 mm lâmina ar + 5 mm), colorido na massa, colocado em caixilharia de alumínio sem corte térmico, e sem sombreamento. Não dispõe de dispositivo de proteção solar (ITE 50 QIII.2 –  $U = 3.8 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ ).

#### **Envidraçados (E3 N P0, E4 N P0 e E15 N P1)**

Vãos envidraçados exteriores orientados a Norte, fixos, com vidro duplo (4 a 8 mm + 16 mm lâmina ar + 5 mm), coloridos na massa, colocados em caixilharia de alumínio sem corte térmico,

sendo fortemente sombreados. Não dispõem de dispositivos de proteção solar (ITE 50 QIII.2 –  $U = 3.5 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ ).

#### **Envidraçado (E10\_W\_P0)**

Vão envidraçado exterior orientado a Oeste, de correr, com vidro simples (6 mm), colorido na massa, colocado em caixilharia de alumínio sem corte térmico, fortemente sombreado. Não dispõe de dispositivo de proteção solar (ITE 50 QI.2 e I.3 –  $U = 6.5 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ ).

#### **Envidraçados (E28\_N\_P2, E31\_W\_P2, E33\_W\_P2, E35\_E\_P2, E38\_S\_P2 e E26\_E\_P2)**

Vãos envidraçados exteriores orientados a Norte, Sul, Este e Oeste, giratórios, com vidro duplo (4 a 8mm + 16 mm lâmina ar + 5mm), coloridos na massa, colocados em caixilharia de alumínio sem corte térmico, fortemente sombreados. Dispõem de dispositivos de proteção solar, móvel, interior com estore de lâminas de cor clara (ITE 50 QIII.2 –  $U = 3.1 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ ).

#### **Envidraçado (E12\_S\_P0)**

Vão envidraçado exterior orientado a Sul, giratório, com vidro duplo (4 a 8 mm + 16 mm lâmina ar + 5 mm), colorido na massa, colocado em caixilharia de alumínio sem corte térmico, e sem sombreamento. Dispõe de dispositivo de proteção solar, móvel, interior com estore de lâminas de cor clara (ITE 50 QIII.2 –  $U = 3.1 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ ).

#### **Envidraçado (E13\_S\_P0)**

Vão envidraçado exterior orientado a Sul, fixo, com vidro simples (6 mm) colorido na massa, colocado em caixilharia de alumínio sem corte térmico, nem sombreamento. Dispõe de dispositivos de proteção solar, móvel, interior com estore de lâminas de cor clara (ITE 50 QIII.2 –  $U = 4.5 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ ).

#### **Envidraçados (E20\_W\_P1 e E21\_W\_P1)**

Vãos envidraçados exteriores orientados a Oeste, fixos, com vidro simples (10 mm) coloridos na massa, sem caixilharia, nem sombreamento. Dispõem de dispositivos de proteção solar, móvel, interior com estore de lâminas de cor clara (ITE 50 QI.2 e I.3 –  $U = 3.11 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ ).

#### **Envidraçados (E27\_N\_P2, E29\_N\_P2, E30\_W\_P2, E32\_W\_P2, E37\_S\_P2 e E39\_S\_P2)**

Vãos envidraçados exteriores orientados a Norte, Sul e Oeste, fixos, com vidro simples (10 mm), coloridos na massa, sem caixilharia, fortemente sombreados. Dispõem de dispositivos de proteção solar, móvel, interior com estore de lâminas de cor clara (ITE 50 QIII.2 –  $U = 3.11 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ ).

### **3.1.1.4. Vãos envidraçados interiores**

OS vãos envidraçados interiores do edifício Jonobras são caracterizados quanto ao seu tipo (vidro simples ou duplo), à sua funcionalidade, à sua orientação, ao seu sombreamento, à sua permeabilidade ao ar e ainda se possuem dispositivos de proteção solar interiores ou exteriores. Os respetivos elementos apresentam as seguintes características:

#### **Envidraçado (E1 I P0, E2 I P0 e E3 I P0)**

Vãos envidraçados interiores que separam a fração de um espaço complementar, são giratórios, com vidro simples (6 mm) coloridos na massa, colocados em caixilharia de alumínio sem corte térmico. Não dispõem de dispositivos de proteção solar (ITE 50 QIII.2 –  $U = 3.98 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ ).

#### **Envidraçado (E4 I P1 e E5 I P1)**

Vãos envidraçados interiores que separam a fração de uma zona de circulação comum, com vidro simples (10 mm) coloridos na massa, sem caixilharia. Não dispõem de dispositivos de proteção solar (ITE 50 QI.2 e I.3 –  $U = 3.0 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ ).

### **3.1.1.5. Inércia Térmica**

A classe de inércia térmica foi determinada tendo por base as regras de simplificação aplicáveis à quantificação da inércia térmica interior de acordo com a Tabela 03 do Despacho 15793 - E. Deste modo, classifica-se como classe média de inércia térmica, pois não se verificaram os requisitos necessários para se classificar a classe de inércia em Forte ou Fraca.

## **3.2.2. Sistemas Técnicos**

Os sistemas técnicos analisados durante uma auditoria energética estão associados à climatização, ventilação e preparação de águas quentes sanitárias (AQS). Os sistemas técnicos são caracterizados principalmente quanto à sua potência, eficiência e área de influência.

### **3.2.2.1. Perfis de funcionamento**

Na simulação energética é premente detalhar o perfil de funcionamento de cada sistema técnico, dos equipamentos, o perfil de ocupação e ainda o perfil de funcionamento da rede de iluminação, de forma a permitir uma maior exatidão na determinação do consumo de energia. Deste modo, foram construídos diferentes perfis de funcionamento, apresentados no Anexo A. Devido à constituição do edifício em três pisos, foram criados perfis de funcionamento que permitem a máxima desagregação de consumo por piso, por tipo de sistema técnico e por equipamento.

### **3.2.2.2. Ventilação**

O caudal de ar novo foi calculado a partir das folhas de cálculo desenvolvidas pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), o *Qventila* e o *Rph\_ventilação*. As folhas de cálculo

utilizadas tem em conta diferentes fatores, que influenciam individualmente o valor obtido. Deste modo, a folha de cálculo  $Q_{ventila}$  determina o caudal mínimo de ar necessário existir no edifício, recorrendo aos dados de área e pé direito, o número de ocupantes, perfil de ocupação, o tipo de atividade metabólica, os limites de proteção de CO<sub>2</sub> do edifício e ainda o método de ventilação. A folha de cálculo  $Rph_{ventilação}$  determina o caudal de ar novo existente no edifício, recorrendo à localização do edifício, à área de vãos envidraçados e respetiva permeabilidade ao ar, área de aberturas de admissão de ar na fachada, condutas de ventilação natural e caracterização de equipamento de ventilação mecânica (se aplicável).

A ventilação processa-se de forma natural pelas fenestraçãoes da envolvente. O caudal mínimo de ar novo calculado para o edifício é determinado tendo em conta o uso, os materiais e o número de ocupantes. O caudal de ar mínimo foi calculado separadamente para cada piso do edifício como apresentado na Tabela 3.2, de modo a compreender as necessidades de ar novo face às condições existentes nas diferentes zonas do edifício.

Tabela 3.2 - Características de ventilação

<b>Edifício</b>	<b>Caudal mínimo ar (critério edifício) [m<sup>3</sup>/h]</b>	<b>Caudal mínimo (critério ocupantes) [m<sup>3</sup>/h]</b>	<b>Caudal de ar estimado [m<sup>3</sup>/h]</b>
<b>Piso 0</b>	1292	9	1133
<b>Piso 1</b>	1283	0	589
<b>Piso 2</b>	759	42	523

### 3.2.2.3. Sistema de climatização

O edifício dispõe de dois sistemas de climatização com unidades exteriores do tipo multi-split e VRF.

A unidade exterior do sistema multi-split realiza a climatização dos escritórios do piso 0 através de duas unidades interiores do tipo termoventilador apresentado na Figura 3.10, o sistema apresenta as seguintes características:

**Marca:** General

**Modelo:** AOH24USAM2

**Potência de Aquecimento:** 8.0 kW; **COP** = 3.21

**Potência de Arrefecimento:** 6.9 kW; **EER** = 2.61

**Área climatizada:** 5% do espaço

**Unidades interiores (2 unidades):** AUG25TLAMA



Figura 3.10 - Pormenor Climatização

As unidades exteriores do sistema VRF climatizam os salões do piso 0 e 1 através de 9 unidades do tipo cassete à semelhança do sistema multi-split, o sistema apresenta as seguintes características:

**Marca:** General

**Modelo:** AOGT90TPAMA

**Potência de Aquecimento:** 28.6 kW; **COP** = 2,86

**Potência de Arrefecimento:** 25.4 kW; **EER** = 2.7

**Área climatizada:** 70% do espaço

**Unidades interiores (9 unidades):** AUG45TLAMA



Figura 3.11 - Pormenor Climatização

### 3.2.2.4. Iluminação Interior

As redes de iluminação interior e em particular as lâmpadas têm as características e potências de consumo apresentadas na Tabela 3.3.

Tabela 3.3 – Características dos Sistemas de Iluminação

Tipologia	Tecnologia	Quantidade	Potência total (W)
<b>Piso 0</b>	Fluorescentes Compactas (18 W)	234	4212
	Lâmpadas LED GU10 (4 W)	11	44
	Lâmpadas de Halogénio (35 W)	29	1015
	Lâmpadas de Halogénio (70 W)	23	1610
<b>Piso 0 Escritório</b>	Fluorescentes Compactas (18 W)	60	1080
<b>Piso 1</b>	Fluorescentes Compactas (18 W)	36	648

	Lâmpadas de Halogénio (35W)	52	1820
	Lâmpadas de Halogénio (70 W)	19	1330
<b>Piso 2</b>	Fluorescentes Compactas (18 W)	230	4140
	Lâmpadas de Halogénio (35W)	4	140

Através da análise da Tabela 3.3, é possível verificar que 50% da potência total de iluminação corresponde à totalidade da iluminação do piso 0, no que diz respeito ao piso 1 e 2 a distribuição é de 24% e 27%, respetivamente. É ainda possível constatar que as lâmpadas utilizadas com maior consumo elétrico, são as lâmpadas de halogénio de 70W.

### 3.2.2.5. Equipamento

Os equipamentos existentes no edifício são constituídos principalmente por computadores, impressoras, fotocopiadoras, máquinas registadoras e elevadores. Na Tabela 3.4 apresentam-se as quantidades de cada tipo de equipamento e a respetiva potência associada.

Tabela 3.4 - Características dos Equipamentos existentes

<b>Tipologia</b>	<b>Tecnologia</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Potência total (W)</b>
<b>Piso 0</b>	Computadores	7	1855
	Impressoras	2	760
	Fotocopiadoras	1	520
	Maquina registadora	1	100
<b>Piso 2</b>	Computadores	9	2385
	Impressoras	6	2280

Através da Tabela 3.4 é possível verificar que existe uma potência total aproximada de 7900 W de equipamentos, sendo que mais de 50% do consumo associado aos equipamentos está alocado ao piso 0, dado a taxa de ocupação ser mais elevada, o que gera maior necessidade de equipamentos e, por consequente, um maior consumo de energia elétrica.

Importa referir que, durante a auditoria não foi possível ter acesso aos valores reais de consumo elétrico de cada equipamento existente, pelo que os valores apresentados na Tabela 3.4, são valores estimados.

### 3.2.3. Sistemas de transporte e distribuição de energia elétrica

O edifício é alimentado por energia elétrica através de um posto de transformação de 5ª categoria do distribuidor EDP, situado no canto nordeste do terreno exterior. A energia elétrica é conduzida, em BT (400/230V AC), ao Quadro Geral (QG), localizado no Piso 0. Este quadro alimenta os outros quadros parciais, distribuídos pelos diferentes pisos do edifício e pelos armazéns exteriores.

Apresenta-se na Figura 3.12 o esquema da rede elétrica com a distribuição dos quadros elétricos na instalação:

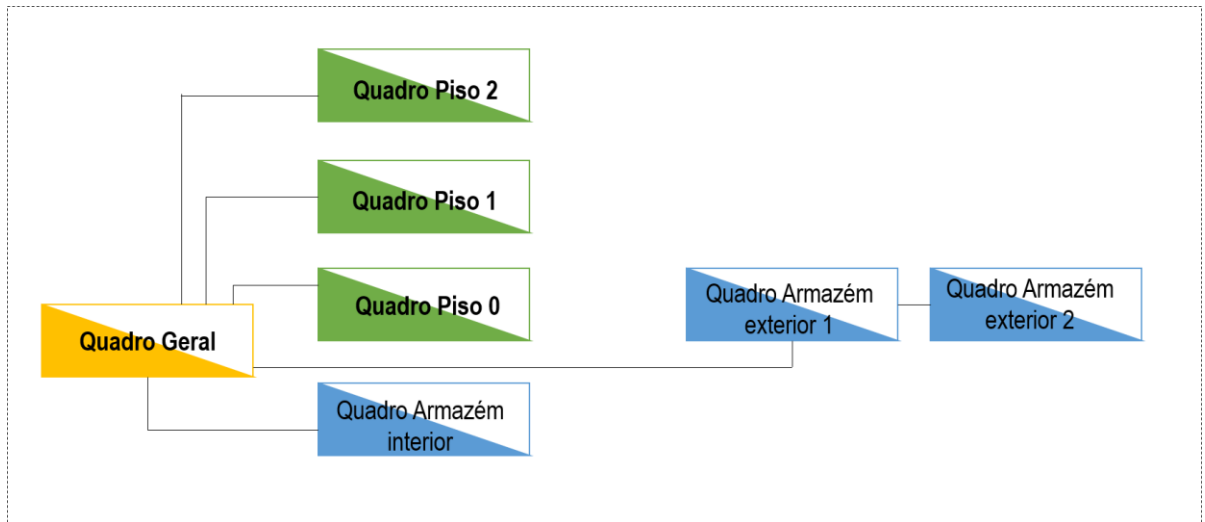


Figura 3.12 - Diagrama de Quadros

## 4. Modelação do Edifício

Nos dias que correm, a eficiência energética assume cada vez mais uma parcela do investimento mundial em termos de engenharia. A avaliação térmica de edifícios e indústrias e o estudo de novas propostas e soluções tecnológicas tornam-se essenciais e, portanto, imprescindíveis para qualquer empresa que queira oferecer concorrência a um determinado mercado. É mediante esta análise que surgem as ferramentas de simulação dinâmica e que se começa a acentuar a importância do seu estudo e desenvolvimento contínuo.

A ferramenta de simulação dinâmica utilizada para análise do caso de estudo foi o *software* HAP 4.8 acreditado pela norma ASHRAE 140. A simulação térmica detalhada foi realizada tendo em conta os perfis reais de utilização das diferentes zonas do edifício, tal como as densidades de iluminação, ocupação, equipamentos e ‘set-points’ existentes no edifício.

### 4.1. Monitorização – Cenário Atual

A monitorização dos consumos de energia elétrica do edifício é um dos processos fulcrais para a análise do presente caso de estudo, pois esta permite a comparação e validação do modelo de simulação dinâmica.

A caracterização do cenário de consumo real do edifício teve por base duas fontes de informação, primeiramente as faturas de eletricidade com uma periodicidade de um ano, e em segundo foram realizadas medições *in situ*, que permitem analisar o perfil de ocupação do edifício e identificar quais os consumos médios diários, semanais e ainda verificar as diferenças entre os dias de semana e de fim-de-semana.

Deste modo, para este edifício, cujos consumos de energia são todos provenientes da rede elétrica, os valores mensais são apresentados na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Consumos elétricos totais por mês

Mês	Energia (kWh)
Set-13	3 107
Out-13	3 036
Nov-13	3 446
Dez-13	9 032
Jan-14	1 661
Fev-14	4 805

Mar-14	3 384
Abr-14	3 353
Mai-14	3 046
Jun-14	2 966
Jul-14	3 263
Ago-14	3 459
Set-14	3 567

Importa referir que não foram facultadas todas as faturas de energia elétrica pelo que se obteve os valores em falta por intermédio do gráfico de consumo existente nas faturas facultadas, sendo que a precisão dos valores estimados está influenciada por um erro superior.

Os consumos de energia elétrica globais obtidos a partir das faturas energéticas durante um ano foram de 48 215 kWh (equivalentes a 120 537 kWh<sub>EP</sub>).

Durante a auditoria energética realizada ao edifício "Jonobras" foi efetuado o levantamento dos consumos de energia elétrica através de analisadores de energia (Circutor | Cir E3), DataLogger's (UT201). De acordo com a Figura 4.1 **Erro! A origem da referência não foi encontrada.**, o aparelho é acoplado ao quadro elétrico abraçando os 3 grampos existentes, correspondentes a cada fase do circuito, aos 3 cabos de alimentação do quadro. Existem ainda 4 crocodilos que são fixos nos barramentos do quadro (três fases e um neutro) que servem de alimentação para o aparelho e medem a tensão nos terminais. O aparelho quantifica a corrente e o fator de potência em cada fase e em intervalos de tempo de 15 minutos (definido pelo utilizador) e calcula diretamente a potência necessária e a energia consumida, gravando num cartão de memória SD inserido antes do início da medição.



Figura 4.1 - Esquema de montagem do analisador de energia

Após o registo dos valores de consumo de energia, os dados foram tratados de forma a obter o gráfico apresentado na Figura 4.2 permitindo assim analisar o comportamento de utilização existente no edifício em estudo. As medições foram realizadas durante um período de sete dias, tendo sido registado a potência instantânea, sendo necessário determinar a potência real ou ativa. Desta forma utilizou-se a equação [4.1].

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt \quad [4.1]$$

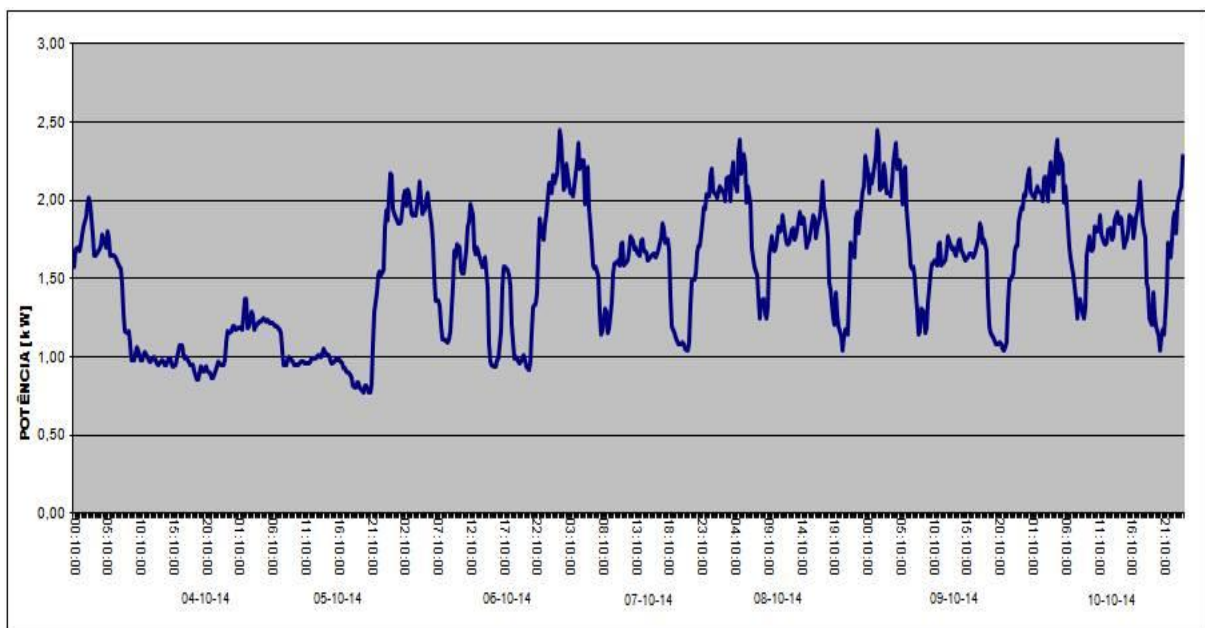


Figura 4.2 - Diagrama de carga

Através do diagrama de carga observado na Figura 4.2, determinou-se o consumo para os dias analisados, totalizando 1 077 kWh, estimando-se assim um consumo elétrico anual de cerca de

51 725 kWh. A diferença de valores existentes, comparativamente ao registado nas faturas energéticas, deve-se ao facto de consistir numa estimativa.

Pela análise da Figura 4.2, é possível compreender o comportamento dos utilizadores do edifício, verificando-se que durante os dias 4 e 5 de outubro, correspondentes a sábado e domingo, existe uma redução do consumo de energia elétrica, o que se deve ao facto de a loja do piso 0 não estar em funcionamento.

## 4.2. Validação do Modelo

A validação do modelo de simulação energética do edifício é realizada com base na comparação dos resultados obtidos na simulação e nos consumos reais de energia elétrica, sendo que, para a validação do modelo de simulação, a diferença entre ambos os valores não deve ser superior a 10%.

De acordo com a simulação realizada obtiveram-se os resultados apresentados na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Resultados da simulação térmica desagregados por utilização

<b>Sistemas</b>	<b>Energia final [kWh]</b>
Sistema de Aquecimento	4 589
Sistema de Arrefecimento	0
Iluminação	31 374
Equipamentos Gerais	13 509
Total	49 472

Através da Tabela 4.2 é possível verificar que os consumos elétricos resultantes da simulação térmica detalhada totalizam o valor de 49 472 kWh. De acordo com o processo de validação do modelo de simulação, constata-se que o modelo gerado é válido, pois apresenta apenas a diferença de cerca de 2,60%, sendo bastante inferior ao limite imposto de 10%.

Pela análise da Tabela 4.2 é possível verificar que não existe consumo de energia elétrica associada ao sistema de arrefecimento, tal deve-se ao facto dos utilizadores não usarem os sistemas de climatização durante a estação de verão, recorrendo à prática de abertura de portas e janelas para manter a temperatura de conforto térmico. Importa ainda referir que o sistema de aquecimento só funciona durante o inverno, pelo que é apenas considerado o funcionamento dos sistemas de climatização para aquecimento durante os meses entre Outubro e Maio.

## 5. Desagregação do Consumo Energético

A auditoria energética permitiu o registo dos dados de consumo de energia elétrica do edifício "Jonobras", tal como anteriormente apresentado na Figura 5.1. A desagregação de consumo energético é um processo de elevada importância, uma vez que permite identificar todos os intervenientes no consumo energético e qual a representatividade dos mesmos na totalidade de energia consumida.

Com o intuito de analisar o comportamento do edifício no geral, foi construído um diagrama de carga do dia médio, consistindo este na média dos registos dos 7 dias de medição, resultando no gráfico observado na Figura 5.1.

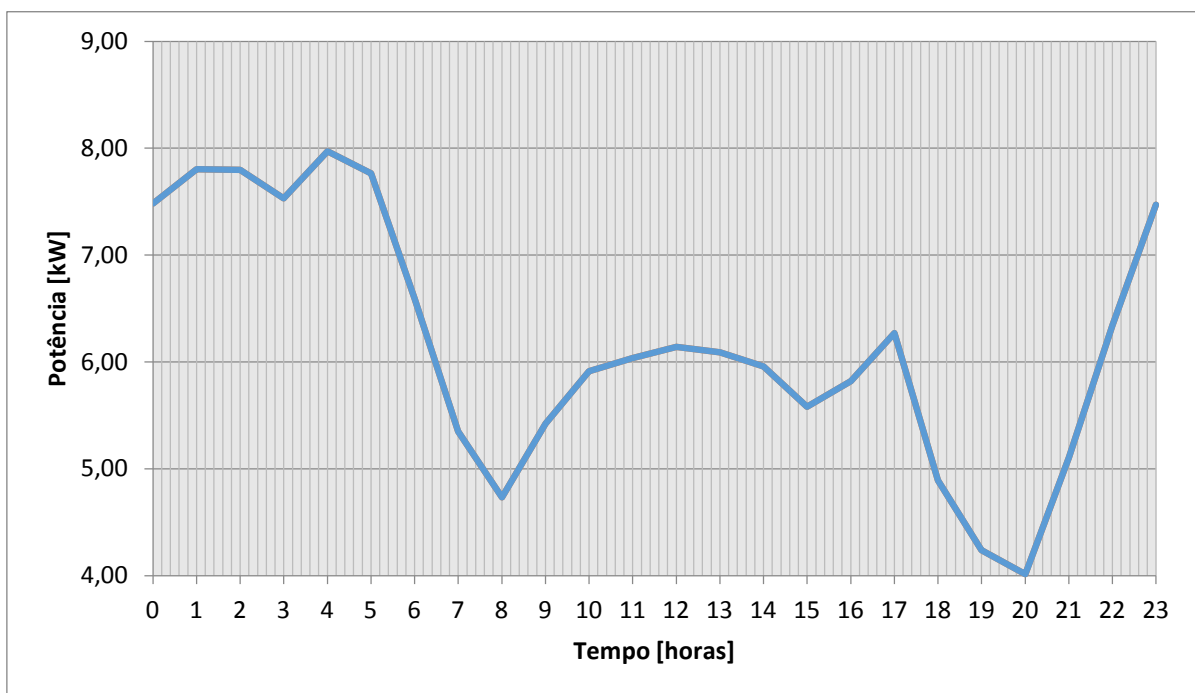


Figura 5.1 - Diagrama de carga do dia médio

Através da análise da Figura 5.1 é possível verificar que o período de funcionamento do edifício é entre as 8 horas e as 20 horas. No entanto, é visível um elevado consumo de energia elétrica durante o período noturno, nomeadamente entre as 20 horas e as 6 horas, tal deve-se à existência de iluminação exterior que está ligada ao Quadro Geral, consistindo em 3 postes de iluminação, tal como observado na Figura 5.2.



Figura 5.2 - Iluminação exterior

Com base na Figura 5.1 é também possível identificar a potência de pico e a *base line* de consumo elétrico do edifício, tendo-se verificado um valor de aproximadamente 8 kW para potência de pico e uma *base line* de 4 kW.

Recorrendo aos dados resultantes da simulação térmica, verifica-se a obtenção de uma desagregação de consumo dividida de acordo com a Figura 5.3.

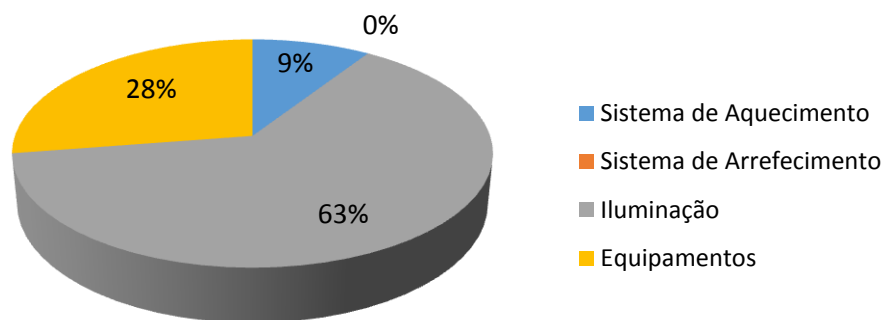


Figura 5.3 - Desagregação do consumo energético

Através da observação da Figura 5.3, é possível constatar que o grande responsável pelo consumo de energia elétrica do edifício é a iluminação, uma vez que a rede de iluminação interior é composta maioritariamente por lâmpadas de halogénio, cujo consumo é elevado (40 a 70 W).

## 6. Determinação da Classe Energética

Tratando-se de um edifício destinado a comércio e serviços, o cálculo da Eficiência Energética teve em conta os dispositivos instalados em condições satisfatórias de funcionamento, designadamente os da iluminação, climatização e ventilação. As necessidades de energia dependem igualmente das temperaturas de conforto e das perdas de calor pelas envolventes opaca e envidraçada, assim como das perdas e ganhos de calor decorrentes da renovação do ar e do número de ocupantes.

Na simulação térmica detalhada foi determinado o indicador de eficiência energética previsto ( $IEE_{pr}$ ) conforme a envolvente do edifício e sistemas técnicos anteriormente caracterizados. Nesta foi também calculado o indicador de eficiência energética de referência ( $IEE_{ref}$ ) que tem em conta as condições de referência estipuladas segundo o Decreto-Lei 118/2013, sendo estes parâmetros, o coeficiente de transmissão térmica dos elementos construtivos (paredes interiores e exteriores, vãos envidraçados exteriores e interiores, coberturas e pavimentos) e as eficiências dos sistemas técnicos existentes, como ar condicionado do tipo multi-split e do tipo VRF.

Através da realização da simulação térmica através do *software* HAP, obteve-se os valores de  $IEE_{pr}$  e o  $IEE_{ref}$  apresentados na Tabela 6.1.

Tabela 6.1 - Indicadores de eficiência energética previsto e de referência

Sistemas	$IEE_{pr}$ [kWh <sub>EP</sub> /m <sup>2</sup> ]	$IEE_{ref}$ [kWh <sub>EP</sub> /m <sup>2</sup> ]
Sistema de Aquecimento	8.88	11.76
Sistema de Arrefecimento	0	0
Iluminação	60.73	38.42
Equipamentos Gerais	26.15	26.15

Através da análise da Tabela 6.1 foi possível determinar o desempenho energético do edifício, pela equação [6.2], obtendo-se um rácio de classe energética ( $R_{IEE}$ ), que qualifica o desempenho energético por meio de uma letra de “A” a “F”, sendo “A” muito bom, e “F” muito mau. A simulação energética detalhada de referência apresenta uma classificação “C” correspondente a 100%, pelo que se o edifício apresentar acima de 100% o seu desempenho é considerado pior que o de referência, e o contrário também se verifica.

$$R_{IEE} = \frac{IEE_{s,pr} - IEE_{REN}}{IEE_{s,ref}} \quad [6.2]$$

$IEE_{S,pr}$  - representa os consumos de energia de climatização (aquecimento e arrefecimento ambiente) e iluminação do edifício real;

$IEE_{S,ref}$  - representa os consumos totais do edifício, sendo considerados os consumos do  $IEE_{pr,S}$  do edifício de referência;

$IEE_{S,REN}$  - representa a energia produzida a partir de fontes de energia renovável.

Pela equação [6.2] foi então obtido  $R_{IEE}=1.39\%$ , o que corresponde a uma classificação energética de C, sendo então o edifício Jonobras 39% menos eficiente do que o edifício de referência.

## 7. Medidas de Melhoria

De forma a melhorar o desempenho energético podem ser adotadas medidas que permitam a redução do consumo de energia, melhorando assim o comportamento térmico do edifício. Analisando o edifício em estudo verifica-se que a medida que terá maior impacto e relevância no desempenho energético será a substituição da iluminação do edifício, sendo esta a maior responsável pelo consumo no edifício.

### 7.1. Iluminação

A rede de iluminação como grande responsável detendo cerca de 63% do consumo elétrico global do edifício tem um enorme potencial de redução de consumo energético. Tendo em consideração a rede de iluminação existente, as propostas de tecnologias sugeridas consistem em tecnologia LED, sendo adaptado o tipo de lâmpada consoante as características da iluminação existentes, sendo apresentadas na Tabela 7.1, as características das lâmpadas sugeridas para substituir. Encontra-se igualmente no Anexo B, as características específicas de cada lâmpada proposta.

Tabela 7.1 - Proposta de substituição da rede de iluminação

<b>Rede iluminação existente</b>	<b>Proposta de rede iluminação</b>
Lâmpadas Halogéneo (35 W)	Lâmpada LED (7 W)
Lâmpadas Halogéneo (70W)	Lâmpada LED (10 W)
Lâmpadas Fluorescentes Compactas (18 W)	Lâmpada LED (9 W)

Após a realização da simulação, cujo intuito foi avaliar o impacte que a proposta de uma rede iluminação composta na totalidade por tecnologia LED, obteve-se os resultados apresentados na Tabela 7.2.

Tabela 7.2 - Redução do consumo elétrico de iluminação obtido

<b>Consumo atual iluminação [kWh]</b>	<b>Consumo posterior iluminação [kWh]</b>	<b>Redução [%]</b>
31 374	12 308	60.77

Através da Tabela 7.2, é possível verificar que a alteração da rede de iluminação por lâmpadas de elevada eficiência permite a redução do consumo elétrico associado à iluminação de 60.77%, o que representa uma redução de cerca 35% do consumo global do edifício.

A instalação de novas lâmpadas mais eficientes requer um investimento médio de 5 581€, através da poupança estimada de 17 377 kWh, é possível obter um retorno de investimento em 0.50<sup>c</sup> anos, ou seja, 6 meses.

A redução do consumo de energia, resultante da substituição das lâmpadas e iluminarias existentes por sistema LED de elevada eficiência, resulta na otimização do desempenho energético do edifício, tendo como consequência a melhoria da classificação energética, passando esta para B.

---

<sup>c</sup> Considerando o valor de 0.16€/kwh, valor médio utilizado pelas operadoras de distribuição de eletricidade

## 8. Conclusões e Desenvolvimentos Futuros

O trabalho desenvolvido permitiu aprender as diferentes etapas da simulação energética e da certificação energética de edifícios de comércio e serviços e as metodologias adotadas, assim como a ferramenta de cálculo utilizada, o *software* HAP.

O caso de estudo analisado possibilitou o desenvolvimento de competências de levantamento dimensional de edifícios, de medição, monitorização e tratamento de valores medidos, caracterização da envolvente térmica do edifício, assim como a caracterização de sistemas de climatização.

A análise realizada ao edifício "Jonobras" permitiu concluir que os dois grandes responsáveis pelo consumo de energia elétrica do edifício são a iluminação e os equipamentos, correspondendo a 63% e 28%, respetivamente. Tendo sido deste modo caracterizado o desempenho energético do edifício, determinando-se que o edifício apresenta uma classificação energética de "C".

Como maior consumidor de energia elétrica, foi proposta a substituição do sistema de iluminação por tecnologia LED de elevada eficiência de forma a reduzir o consumo de energia elétrica e a melhorar o desempenho energético do edifício. A medida de melhoria proposta teria uma redução de cerca de 60% do consumo de eletricidade correspondente à iluminação, o que proporciona uma redução de faturação em cerca de 2 780€ anuais. Tal melhoria permitiu assim a alteração da classificação energética, passando assim de "C" para "B".

No futuro, sugere-se a análise de implementação de um sistema de energia solar fotovoltaica em dois cenários, um em que a energia produzida é consumida de modo a suprimir o consumo elétrico dos equipamentos, e outro que consiste num sistema com armazenamento para suprimir as necessidades de energia elétrica de iluminação durante o período noturno. Ambos os cenários visam reduzir a fatura energética e a dependência de energia elétrica da rede de distribuição.

É proposto também uma análise da substituição da iluminação por tecnologia mais eficiente, recorrendo inicialmente à medição do consumo elétrico associado e posteriormente ao estudo de viabilidade da substituição da mesma.

## Referências Bibliográficas

- [1] P. Cabral, “Cidades e Eficiência Energética,” *Ingenium*, Lisboa, p. 42, 2014.
- [2] G. N. R. Cúmano, “Análise técnico-económica de diferentes estratégias passivas de eficiência energética em edifícios Caso de estudo : Edifício Pombalino Engenharia Mecânica,” 2009.
- [3] M. Panão, “Folhas de apoio: Transferência de calor por condução,” 2014.
- [4] M. Panão, “Folhas de apoio: Transferência de calor por convecção,” 2014.
- [5] M. Panão, “Folhas de apoio: Transferência de calor por radiação,” 2014.
- [6] C. Corporation, “HOURLY ANALYSIS PROGRAM,” 2013.
- [7] LNEG, “Solterm 5.1.” 2009.
- [8] TECNILED, “LED,” *TECNILED*, 2013. [Online]. Available: <http://tecniled.pt/p/corepro-led-bulb-9w-3000k-fosca-/696>. [Accessed: 10-Sep-2015].
- [9] Greenice, “Lâmpadas LED,” *Greenice*, 2014. [Online]. Available: <http://greenice.pt/lampadas-de-led-gu5-3/2620-lampada--leds--cob--gu-5-3--mr16--7w--630lm-30-000h-8435402520962.html> . [Accessed: 10-Sep-2015].

## Anexos

### Anexo A – Perfis de utilização

A simulação térmica detalhada foi realizada com base nos perfis de funcionamento de ocupação, equipamentos, iluminação e climatização como apresentado de seguida.

#### - Perfil de Ocupação

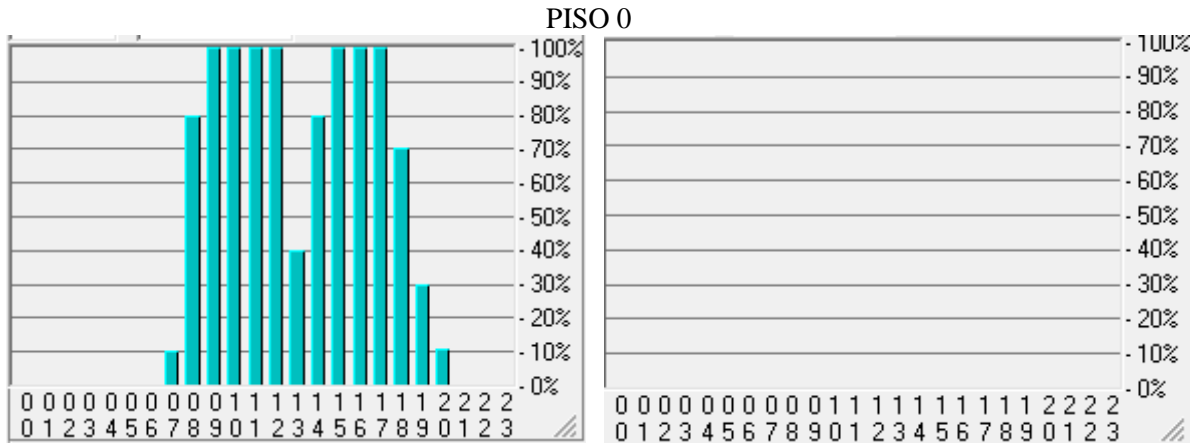


Figura A.1 - Perfil Semanal

Figura A.2 - Perfil Fim-de-semana

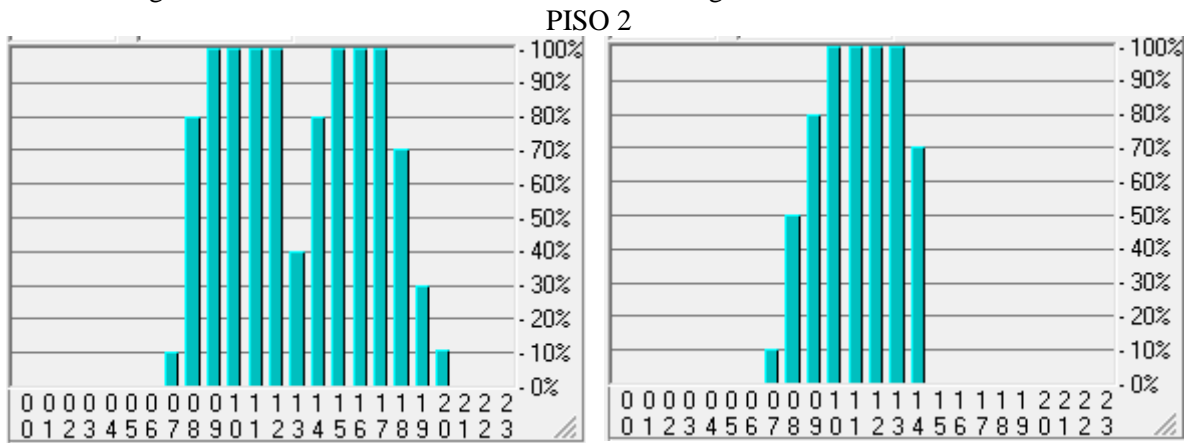


Figura A.3 - Perfil Semanal

Figura A.4 - Perfil Fim-de-semana

#### - Perfil de Equipamentos

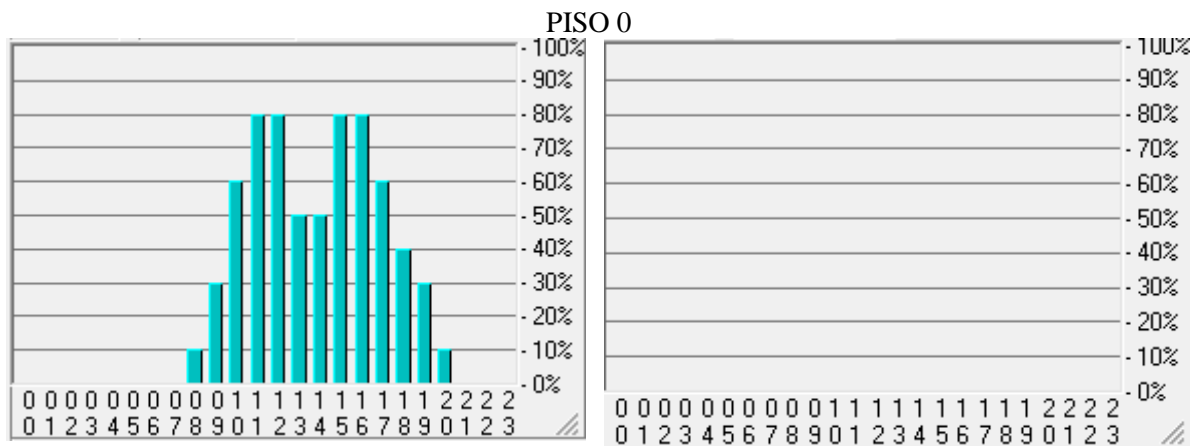


Figura A.5 - Perfil Semanal

Figura A.6 - Perfil Fim-de-semana

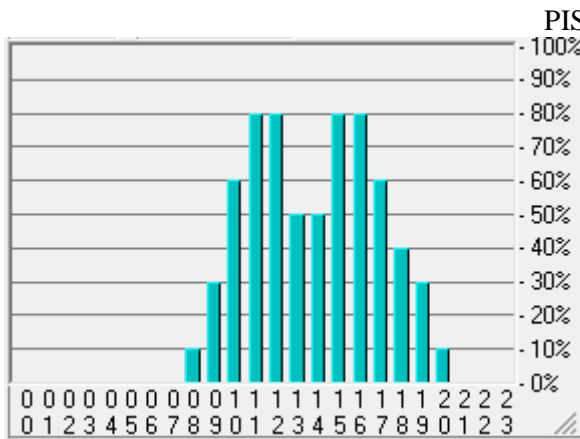


Figura A.7 - Perfil Semanal

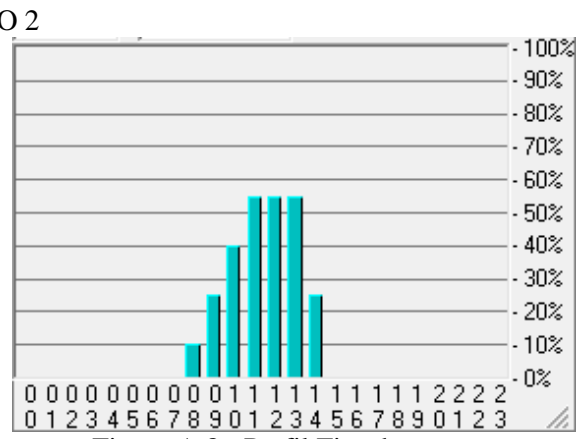


Figura A.8 - Perfil Fim-de-semana

**- Perfil de Iluminação**

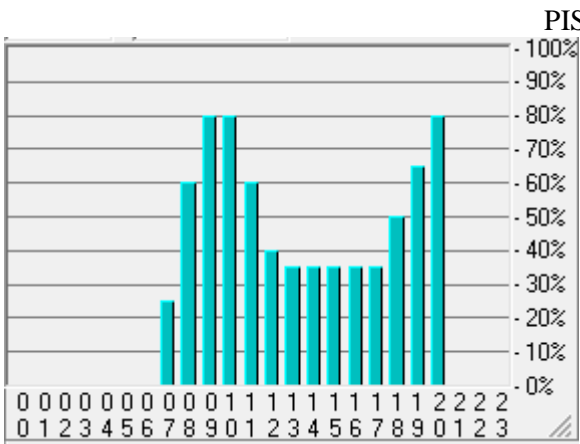


Figura A.9 - Perfil Semanal Verão

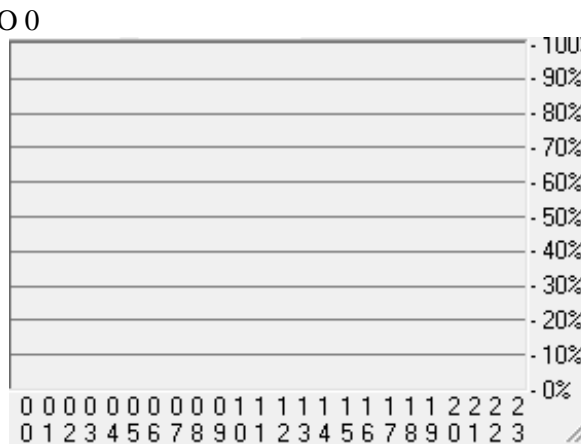


Figura A.10 - Perfil Fim-de-semana

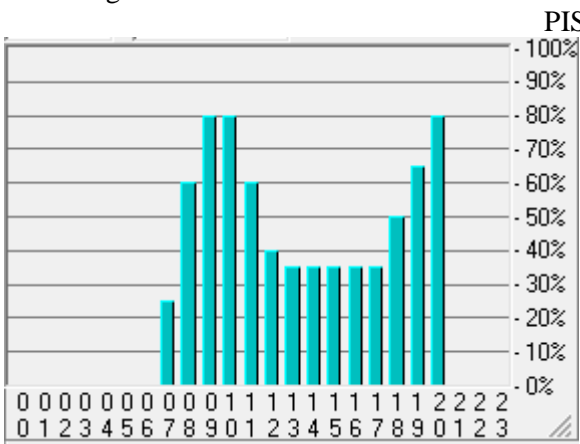


Figura A.11 - Perfil Semanal Verão

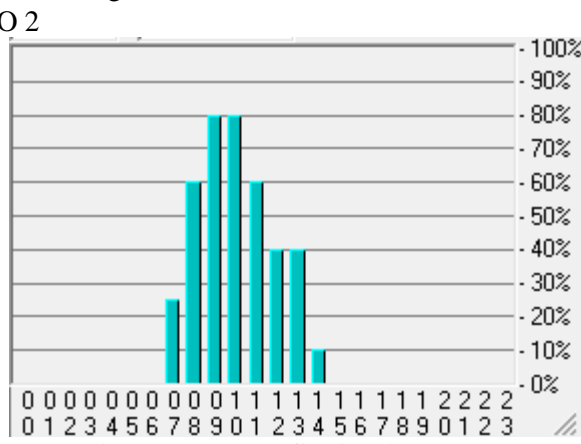


Figura A.12 - Perfil Fim-de-semana

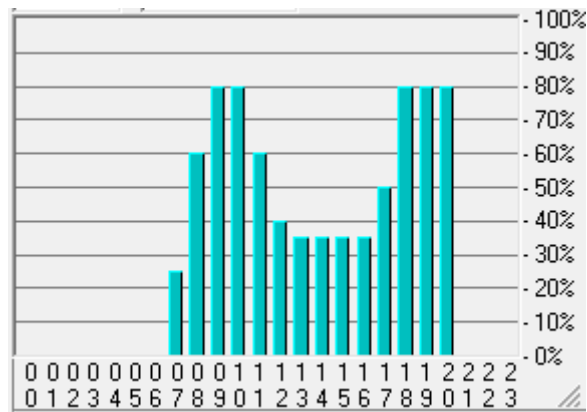


Figura A.13 - Perfil semana Piso 0 e 2 período Inverno

## Anexo B – Iluminação

A iluminação proposta nas medidas de melhoria encontra-se caracterizada nas seguintes figuras, sendo que a primeira visa substituir a lâmpada fluorescente compacta (18 W), a segunda a lâmpada de halogénio de 40W e por fim a terceira substituirá a lâmpada de halogénio de 70 W.

Figura B.1 - Lâmpada LED (9W)[8]



**Designação:** CorePro LED Bulb  
**Potência:** 9W  
**Intensidade luminosa:** 806 lm  
**Tempo de vida:** 15 000 horas

Figura B.2 - Lâmpada LED (7W)[9]



**Designação:** COB GU 5.3 MR16  
**Potência:** 7W  
**Intensidade luminosa:** 630 lm  
**Tempo de vida:** 30 000 horas

Figura B.3 - Lâmpada LED (10W)



**Designação:** Downlight LEDs Quadrado COB Difusor  
Transparente

**Potência:** 10W

**Intensidade luminosa:** 800 lm

**Tempo de vida:** 30 000 horas